

Zum Einfluß der Zerkleinerung
des Fleisches auf die Extrahierbarkeit
von Muskeleiweißkörpern

Heinz Grothaus

Aus dem Institut für Nahrungsmittelkunde der
Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Komm. Vorstand: Prof. Dr. H. S e d l m e i e r

Zum Einfluß der Zerkleinerung des Fleisches
auf die Extrahierbarkeit von Muskeleiweißkörpern



Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der veterinärmedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von
Heinz G r o t h a u s
aus
Starnberg (Obb.)

München 1957

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Professor Dr. H. L i e b m a n n

Referent: Professor Dr. H. S e d l m e i e r

Tag der Promotion: 24. Juli 1957

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite:
A. Einleitung	1
B. Literatur	2
I. Zerkleinerungstechnik	2
II. Der Zerkleinerungsvorgang	4
III. Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung	5
IV. Fleischzerkleinerungsmaschinen	6
1. Der Fleischwolf	7
2. Der Kutter	8
3. Die Kolloidmühle	10
V. Die Eiweißkörper des Muskels	11
VI. Der Aktomyosin-Komplex	12
VII. Dissoziation des Aktomyosin-Komplexes	13
VIII. Extrahierbarkeit von Muskeleiweißkörpern	16
IX. Der Einfluß der Zerkleinerung auf die Extrahier- barkeit fibrillärer Muskeleiweißkörper	17
C. Eigene Untersuchungen	20
I. Material und Methodik	20
1. Präparation der Muskulatur	20
2. Extraktionslösungen	20
3. Durchführung der Extraktionen	21
II. Besprechung der Ergebnisse	28
D. Diskussion	29
E. Zusammenfassung	32
F. Literaturverzeichnis	33
Lebenslauf	44

A. E i n l e i t u n g

Die Technik hat in den letzten Jahren auf dem Gebiete der Fleischzerkleinerung große Fortschritte gemacht. So wurden nicht nur die Kapazitäten der herkömmlichen Maschinentypen erheblich gesteigert, sondern auch in den Feinstzerkleinerungsmaschinen ein neuer Typ geschaffen, der es gestattet, tierisches Gewebe bis zum weitgehenden Strukturverlust zu zermahlen. Die Frage, ob insbesondere bei der Brühwurstherstellung eine weitestgehende Gewebszertrümmerung den Fabrikationsgang stabilisiert und die Qualität des Endproduktes verbessert, hat das Institut für Nahrungsmittelkunde im Rahmen von Untersuchungen über das Verhalten des Fleisches bei der Verarbeitung zum Gegenstand exakter Untersuchungen gemacht.

Mir wurde dabei die Aufgabe übertragen, die Extrahierbarkeit von Muskel-eiweißkörpern mit Kochsalz- und Pyrophosphatlösungen in Abhängigkeit vom Zerkleinerungsgrad und von der postmortalen Lagerungsdauer des Muskelfleisches zu studieren.

B. L i t e r a t u r

=====

I. Zerkleinerungstechnik

Durch Zerkleinerungsprozesse wird ganz allgemein eine feinere Zerteilung der Stoffe angestrebt (49). In feinsten Zerteilungen zeigen nämlich Substanzen oft Eigenschaften, die ihnen im unzertheilten Zustand entweder gar nicht oder nur in bedeutend geringerem AusmaÙe zukommen. Solche Eigenschaften sind Schwebefähigkeit, Filmbildungsbestreben, Viskosität, Haftfähigkeit und Adsorptionsvermögen. Insbesondere wird die Reaktionsfähigkeit infolge der vergrößerten wirksamen Oberfläche gesteigert (12).

Bei der Zerkleinerung finden sowohl mechanische als auch chemische Vorgangsweisen Anwendung. C h w a l a (12) unterscheidet drei Gruppen von Zerkleinerungsmethoden mit kontinuierlichen Übergängen:

1. Rein mechanische Verfahren

Die Zerkleinerung der Stoffe erfolgt entweder im trockenen Zustand oder in Gegenwart von Wasser. Seltener finden organische Lösungsmittel Verwendung.

2. Mechanische Verfahren in Gegenwart chemisch nahezu inerten Zusatzstoffe

Entsprechend dem Dispersionsmittel werden hydrophile, oleophile oder andere Substanzen zugesetzt.

3. Chemische bzw. kolloidchemische Vorgangsweisen, eventuell unterstützt durch mechanische Verfahren

Hierbei kommen ausgesprochen aktive Zusatzstoffe wie Säuren, Laugen, Salze, Phenole u.a. zur Anwendung, die ihre Wirksamkeit auf die zu zerkleinernden Materialien ausüben, während diese eventuell einer weitgehenden mechanischen Zerstörung unterliegen.

Von der chemischen Dispersion ist die Peptisation zu unterscheiden. Diese Bezeichnung ist vom peptischen Abbau der Proteine abgeleitet worden und soll eine Teilchenverkleinerung ausdrücken. Während bei der Dispersion gröbere Partikel in viele nicht vorgebildete Einzelteilchen zerteilt wurden, kommt es bei der Peptisation zu einer Aufteilung der Polyonen in

ihre Primärteilchen (92). B u z a g h (11) definiert die Peptisation als kolloidalen Auflösungs Vorgang unter Zusatz eines dritten Stoffes. Den Lösungsvermittler bezeichnet er als Peptisator und das Medium, in dem die Peptisation erfolgt, als Peptisationsmittel (11). Nach K u h n (51) beruht die Peptisation im wesentlichen auf einer Vergrößerung der elektrischen Ladung der Kolloidteilchen. Dies kann durch Entfernung des Fällungsmittels (Peptisation durch Auswaschen mit Wasser), oder durch Zusatz eines Peptisators erreicht werden, der sich als elektrisch geladenes Ion an das Kolloidteilchen anheftet (51). Bei dieser "Adsorptionspeptisation" entsteht um die Teilchen eine elektrische Doppelschicht, wodurch eine gegenseitige Abstoßung und ein In-Lösung-Gehen erfolgt (6, 51). Die gleiche Ansicht vertreten B u z a g h (11) und S t a u d i n g e r (86), wenn sie die Peptisation der stark lyophoben Kolloide überwiegend auf elektrische Faktoren zurückführen (elektrokristische Kolloide). Nach einer anderen Betrachtungsweise wird der Peptisationsvorgang als Erniedrigung der Grenzflächenspannung des Suspensionsmediums gegenüber dem Dispersionsmittel erklärt (51).

Bei Nicht-Gelen führt die Peptisation zu Trübungen, bei Gelen normalerweise zu kolloidalen Lösungen. Als Peptisatoren kommen in erster Linie Säuren und Basen in Frage oder solche Stoffe, welche H- oder OH-Ionen in genügender Menge zur Verfügung stellen. Säuren oder Basen, bzw. saure oder basische Salze, bilden mit den zu peptisierenden Körpern Komplexe, welche ihrerseits die Aufladung und so das Entstehen des kolloidalen Zustandes bewerkstelligen (12). Echte Salze können nach C h w a l a (12) eine Peptisation seltener hervorrufen. Dagegen wird aber von anderer Seite die Meinung vertreten, daß auch Neutralsalze befähigt seien, Polypeptide unter Komplexbildung zu peptisieren (78).

C h w a l a (12) stellt Pyrophosphat als einen besonders guten Peptisator heraus, welcher sogar Nichtgele stark zu beeinflussen vermag. Die besondere Wirkung der pyrophosphorsäuren Alkalisalze wird ihrer Fähigkeit zugeschrieben, bis zu drei von ihren Kationen gegen andere Ionen auszutauschen und lösliche Komplexsalze zu bilden. Es handelt sich beim Pyrophosphat vermutlich um ein unsymmetrisches, deformier- und orientierbares (dipolartiges) Molekül. Es hat die Fähigkeit zur Komplexsalz-Bildung, aber auch die zur Filmbildung und besitzt somit Emulgatoreigenschaften (12).

Die Wirkung solcher Peptisatoren veranlaßte K o t t e r (47) zu der Feststellung, daß die Zerkleinerung von Fleisch nicht nur mit den Mitteln der klassischen Mechanik, sondern auch durch Peptisation erfolgen kann (47). Der mit mechanischen Mitteln erreichbare Zerkleinerungsgrad kann so durch Anwendung von Peptisatoren gesteigert und die vorliegende Substanz noch weiter desintegriert werden (6).

II. Der Zerkleinerungsvorgang

Durch den Zerkleinerungsprozeß kommt es zu einer Vergrößerung der Oberfläche. Dadurch treten Moleküle oder Atome, welche bisher im Gleichgewicht waren, an die neu gebildete Grenzfläche (63). Ihre kohäsiven Bindungskräfte sind also nicht mehr wie im Inneren gegenseitig abgesättigt, sondern entfalten nur nach aussen Adhäsionseffekte, welche bei der Adsorption als Benetzungswärme in Erscheinung treten (45). Diese Energiemenge stellt das Minimum dessen dar, was bei der Zerkleinerung zugeführt werden muß. Als Wirkungsgrad einer Zerkleinerung ergibt sich das Verhältnis der zugeführten Energie zum Zuwachs der Oberflächenenergie (64). Zerkleinerungswirkungsgrade sind nach M i a l k i (63) im allgemeinen sehr schlecht und liegen häufig unter einem Prozent. G r ü t t n e r (32) hat diese Tatsache für die bei der Lebensmittelverarbeitung Anwendung findenden Maschinen besonders herausgestellt.

M i a l k i (62) unterscheidet grundsätzlich vier Typen von Zerkleinerungsvorgängen und zwar:

1. den Scherenschnitt (Wolf);
2. den Messerschnitt (Kutter);
3. das Fräsen (Reibmaschine);
4. das Feinstzerkleinern unter weitgehender Zerstörung der Gewebestruktur (Kolloidmühle).

Für einen rationellen Zerkleinerungsprozeß müssen nach M i a l k i (59) folgende Bedingungen erfüllt sein: 1. Hohe Leistung bei geringem Kraftaufwand, 2. weitgehende Verhinderung von Wärmeentwicklung während des Arbeitsprozesses und 3. saubere Schnittführung und geringer Druck auf den zu zerkleinernden Stoff.

III. Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung

Nach M i a l k i (63) spielt die Zerkleinerung pflanzlicher und tierischer Stoffe in der Lebensmitteltechnik eine bedeutende und nicht selten unterschätzte Rolle. Abgesehen davon, daß für diesen Zweig der Verfahrenstechnik jährlich beträchtliche Energiemengen aufgewendet werden, ist die mechanische Bearbeitung von wesentlichem Einfluß auf die Güte der fertigen Erzeugnisse (63).

Neben der Weichmüllerei, welche vorzugsweise der Erzeugung trockener Pulver dient (z.B. die Getreidemüllerei), kommt bei der Verarbeitung von Lebensmitteln die Weichzerkleinerung zur Anwendung (62). Bei diesem Verfahren werden Substanzen tierischer und pflanzlicher Herkunft, sogenannte Weichstoffe, zerkleinert (63). P i l z (75) gibt für die Weichstoffe eine Reihe charakteristischer Eigenschaften an, wie verhältnismäßig leichte Verformbarkeit, Makro- bzw. Zell-Struktur, hoher Wassergehalt sowie eine gewisse Zerreißfestigkeit. Sie nehmen eine Mittelstellung zwischen den niedrigviskosen Flüssigkeiten mit sehr geringen Verformungswiderständen und den festen Stoffen ein, die in diesem Zusammenhang als praktisch nicht verformbar angesehen werden (75). Die Weichzerkleinerung betrifft somit Stoffe plastischer Art und meist hoher Feuchtigkeitsgehalte (62).

Nach M i a l k i (62) soll bei der Zerkleinerung die Mikrostruktur der Weichstoffe möglichst unzerstört bleiben, da diese Substanzen ziemlich labile Gebilde darstellen und meist auch eine große biologische Empfindlichkeit aufweisen. Daher wird die Weichzerkleinerung im Gegensatz zur Weichmüllerei von Schneidvorgängen beherrscht, mit Ausnahme der Feinstzerkleinerung (62).

In der Hartzerkleinerung und in der Weichmüllerei sind durch die Forschung bereits merkliche Fortschritte erzielt worden, ganz im Gegensatz zur Weichzerkleinerung (62). Hier treffen wir Verfahren und Einrichtungen an, die sich nach K i e s s k a l t (45) in einem Stadium nahezu werkmeisterlicher Empirie befinden. Die Gründe dafür sieht P i l z (73) in der Heterogenität der zu bearbeitenden Substanzen, die eine mathematische Durchdringung des Problems sehr erschwert. Ferner lassen sich manche Eigenschaften des Materials, wie z.B. die Plastizität, kaum erfassen. Untersuchungen von M i a l k i (63) ergaben, daß bei den Weichstoffen, die als tierische oder pflanzliche Rohstoffe meist Kolloide sind, von

einer bestimmten Dispersität ab Grenzflächenvorgänge eine entscheidende Rolle spielen.

IV. Fleischzerkleinerungsmaschinen

In der Praxis der Fleischverarbeitung finden hauptsächlich folgende Maschinentypen Verwendung:

1. Fleischwolf,
2. Kutter (auch "Blitz" genannt),
3. Schneidmischer,
4. Kolloidmühle, KS-Mühle usw.,
5. Würfelschneidmaschine,
6. Wiegeapparat,
7. Diverse Ergänzungsmaschinen (7, 32).

Die Bestrebung, die Handarbeit bei der Fleischverarbeitung in immer stärkerem Maße durch maschinelle Vorgänge abzulösen, führte zur Entwicklung von Spezialmaschinen, deren älteste Modelle 1850 als Fleischwolf erstmalig genannt werden (32).

Das Grundprinzip des heutigen Wolfes wurde in Amerika entwickelt und war damals schon durch einen Schneidsatz aus Schnecke, Messer und Lochscheibe, das sogenannte Enterprise-System, gekennzeichnet (65). Die immer größeren Anforderungen der Fleischverarbeitung konnte im Laufe der Zeit der Wolf allein nicht mehr bewältigen. Neue Zerkleinerungsmaschinen wurden konstruiert, so z.B. um die Jahrhundertwende der Kutter, gefolgt durch den Speckschneider und die Mengemaschine. Der Wiegeblock wurde durch diese Geräte jedoch nicht verdrängt. Er erhielt einen elektrischen Antrieb und findet auch heute noch in manchen Betrieben bei der Rohwurstherstellung Verwendung (65, 80).

Die Standardmaschinen der Fleischzerkleinerung, Fleischwolf und Kutter, sind zwar technisch ständig durch Verbesserung der Zerkleinerungsvorrichtungen und der Ausstattung weiter entwickelt worden, im Prinzip sind sie jedoch immer noch mit denselben Arbeitselementen ausgestattet, wie sie schon in den ersten Maschinen Verwendung fanden (32). Die Entwicklung war rein empirisch und hat sich Zug um Zug nach praktischen Erfahrungen vollzogen (79). Der Aufwand an Kraft ist daher im Verhältnis zur Leistung beachtlich hoch (32).

1. Der Fleischwolf

Das zu zerkleinernde Gut wird in großen Stücken dem Fülltrichter zugeführt, von der Zubringerschnecke zur Arbeitsschnecke transportiert und von dieser unter einem gewissen Druck zum Schneidsatz gefördert. Dieser besteht aus Lochscheibe und rotierendem Messer, meist in mehrstufiger Anordnung (62). Für Kochwurst fanden unter der Bezeichnung "Tiger" auch Geräte Verwendung, bei welchen die Messer feststehen und die Scheiben rotieren (8). Um die großen Stücke in gewünschter Weise zu zerkleinern, wird das Gut im Wolf durch die Schnecke mit einem solchen Druck gegen die Lochscheibe gepreßt, daß es bis zu einer gewissen Tiefe eindringt. Es bildet dabei einen Meniskus, der dann durch das vorbeigleitende Messer scheren-schnittartig abgetrennt wird (7, 62).

Die Förderung durch die Schnecke beruht auf ihrer Schraubenwirkung, wobei die Schnecke die Schraube darstellt und das Fördergut die Schraubenmutter. Daher ist ihr Wirkungsgrad nach **R i e s s** und **M e s k a t** (77) als Funktion von Steigungswinkel und Reibungswert bestimmt. Die Reibungswerte wurden von **M i a l k i** (59) ermittelt. Der Wirkungsgrad der Förderschnecke, das ist die dem Transport zugute kommende Kraft, schwankt zwischen 50 und 90 % (62).

Die Drehzahl des Schneidsatzes beträgt meist um 200 U/min und ergibt Schnittgeschwindigkeiten in der Größenordnung 1 m/sec (62). Der Schneidsatz unterliegt ständig Verbesserungen und Neukonstruktionen mit dem Ziel, ein Erwärmen und Quetschen und damit eine Denaturierung des Fleisches zu verhindern. Neue Wege wurden bei den auswechselbaren Schneidklingen des Auja-Schneidsatzes (80) und bei den Tangentialschneidsätzen (32) beschritten.

Die mit dem Fleischwolf erreichbare Zerkleinerung des Fleisches beträgt nach **G i ß k e** (29) 1 mm.

Die Größe der Maschinen hängt von der geforderten Leistung ab. Mittlere Betriebe verwenden meist Geräte mit einer Durchschnittsleistung von 500 - 800 kg pro Stunde; große Betriebe arbeiten mit Hochleistungsautomatenwölfen, welche einen Stundendurchsatz von 3000 kg und mehr aufweisen (80).

2. Der Kutter

Ursprünglich wurde der Kutter zum Zerkleinern des Fleisches als Einzweckmaschine konstruiert, entwickelte sich jedoch im Laufe der letzten Jahre zu einer Mehrzweckmaschine (29). Ein moderner Kutter soll neben der ursprünglichen Anforderung einer einwandfreien Zerkleinerung auch eine gleichmäßige Durchmischung des Wurstgutes und insbesondere bei der Herstellung von Brühwurstbrät eine gute Emulgierung des Fettes und eine stabile Wasserbindung ermöglichen. Er ist somit zu einer Zerkleinerungs-Misch-Emulgiermaschine geworden (29).

Im Prinzip arbeitet der Kutter wie folgt: Um eine senkrechte Achse dreht sich die Kutterschüssel, in deren ringförmigen Rinne sich das zu zerkleinernde Gut befindet. In einer radialen Ebene drehen sich die Messer so, daß sie den Strom des Gutes nahezu senkrecht zu einer Bewegungsrichtung schneiden. Der Materialstrom wird also in grober Annäherung in etwa halbkreisförmige Scheiben geschnitten. Während wir beim Fleischwolf eine Art Scherenschnitt mit etwa 1 m/sec Schnittgeschwindigkeit haben, erzeugt der Kutter eine Art von Messerschnitt mit einer Schnittgeschwindigkeit von 25 m/sec am Messerumfang (62).

Die Anzahl und Form der verwendeten Kuttermesser ist verschieden. Es gibt sichelförmige, gebogene, gerade, geschwungene oder auch propellerartige Kuttermesser (80).

P i l z (74) stellte auf Grund seiner Untersuchungen fest, daß der Schnittwinkel für die Messerform von ausschlaggebender Bedeutung ist. Unter Schnittwinkel versteht man den Winkel zwischen der Messernormalen, d.i. die Senkrechte auf die Messerschneide und der Bewegungsrichtung des Messers. Nach P i l z (74) liegt der optimale Schnittwinkel zwischen 30° und 50° . Bei den neuen Hochleistungsmessern wurde dieses Erkenntnis berücksichtigt, denn sie zerkleinern das Fleisch im "ziehenden Schnitt" (7).

Über die Verwendung von stumpfen Kuttermessern berichtet M i a l k i (60, 61) und findet bei seinen Versuchen keine Beeinträchtigung des Brätes. Dies wird jedoch von F i g g e (25) und S c h w e r d t (82) bezweifelt. K o t t e r (47) befürwortet für die Rohwurstfabrikation die Benutzung von scharfen Messern. Wenn jedoch ein besonders feiner Zerkleinerungsgrad erwünscht ist, wie z.B. bei Brühwürsten und bestimmten Kochwürsten vom Charakter der feinen Leberwürste, so könne man die Messerform zur Stei-

gerung der Reibung wie folgt abändern: "Die Schärfe der Messer ist beizubehalten, an den Seitenflächen könnte jedoch die Reibung durch leichte Wellung etwas erhöht werden, weil dadurch das Muskeleiweiß vollständiger von seinen umhüllenden Strukturen befreit wird".

Einen besonderen Typ stellt der Schnellkutter mit einem senkrecht angeordneten Schneidsatz dar (32). Die Messer rotieren in einer waagrechten Ebene mit einer Drehzahl von 1450 U/min beim Vorschneiden und 2900 U/min beim eigentlichen Kuttern (7). Nach G i B k e (29), G i B k e und G r a u (30) sowie W i n t e r (102) erübrigt sich beim Schnellkutter und beim neuen Schneidmischer die Vorzerkleinerung mit dem Wolf. Trotzdem wird eine intensivere Zerkleinerung des Wurstbräts unter weitgehendem Aufschluß der Muskelzellen erreicht als beim üblichen Kuttern, wodurch bessere Bindung und gleichmäßigere Verteilung des Fettes (Stabilisierung der Emulgierung) erreicht wird (29, 30).

M i a l k i (62) gibt folgende Darstellung vom Kutterprozeß: Das im Wolf vorzerkleinerte Material wird im Kutter höchstens zu Beginn geschnitten. Im Anschluß daran stellen sich Grenzschichtvorgänge ein, die durch die Reibung am Messer im Schneidgut ausgelöst werden. "Von einem gewissen Dispersionsgrad ab wird der Kutterprozeß zu einem Strömungsproblem. Infolge der hohen Viskosität des Gutes haben wir es mit sehr kleinen Reynolds'schen Zahlen zu tun. Unter diesen Voraussetzungen bilden sich Schubspannungen aus, die zu einem Geschwindigkeitsgefälle und damit zur Reibung innerhalb der als Flüssigkeit angesehenen Kolloide führen. Unter diesen Vorgängen dürften die Ursachen für die schnelle Steigerung der Dispersität, für die Mischung und für die Intensivierung der Wasserbindung bei Eiweißen, insbesondere also bei Fleisch, liegen."

Nach K o t t e r (47) werden bei der Bearbeitung des Fleisches im Kutter die bindegewebigen Hüllen der Muskelfasern und das interstitielle Bindegewebe durch die Reibung weitgehend von anhaftenden Muskelfibrillen befreit und das Sarkoplasma ganz allgemein aus dem Verband der "dichten Packung" gesprengt. Der fortgeschrittene Vorgang der Brätherstellung verlaufe etwa in der Weise, daß unter der reibenden und schlagenden Wirkung der Kuttermesser das Sarkoplasma gewissermaßen aus den angeschnittenen Sarkolemmschläuchen herausgeklopft wird. Unterstützend wirke allerdings das zugesetzte Salz und das Fremdwasser (47).

Die Reibungsvorgänge beim Kuttern können eine Wärmedenaturierung hervor-

rufen. Zugesezter Eisschnee und zum Teil auch gekühlte Kutterschüssel und Messer sollen diese Gefahr beseitigen (7, 80). Solange der Zerkleinerungsprozeß jedoch überwiegend von mechanischen Insulten bestritten wird, ist die Möglichkeit der Erhitzung dennoch gegeben. K o t t e r (47) empfiehlt daher, der Zerkleinerung mit chemischen Mitteln vikariierend breiteren Raum einnehmen zu lassen. Neben dem bereits üblichen Zusatz von 2 % Kochsalz zum Wurstbrät, welcher nach Untersuchungen von K o t t e r und P r ä n d l (49) die Ionenstärke¹⁾ im Fleischbrei auf $\kappa = 0,5$ erhöht, könne durch die im letzten Jahrzehnt bekannt gewordenen Kutterhilfsmittel, insbesondere durch die kondensierten Phosphate, das Eiweißdispergierungsvermögen des Kochsalzes verstärkt werden (49). Durch den Zusatz solcher Salze wird nach K o t t e r (47) der Verteilungseffekt stabilisiert und ergänzt somit eine weitere Desintegration der Muskeleiweißkörper erreicht. Ausserdem bewirken die kondensierten Phosphate eine Viskositätserniedrigung, so daß auch dadurch die Reibungsvorgänge gesteuert werden.

3. Die Kolloidmühle

Das wichtigste Bauelement der Kolloidmühle ist ein schnellaufender Rotor in einem feststehenden Gehäuse. Beide Teile haben Unebenheiten, wodurch Wirbel, Schläge, Flüssigkeitsreibungen an den Wandungen und andere Mahlgutbeanspruchungen entstehen (32). Die Mahlspalten sind verstellbar, und der Mahlgang wurde durch eine neuartige Spezialverzahnung auf 2 Mahlstufen erniedrigt (83). Dem Mahlgut müssen nach S c h w e r d t (83) mindestens 40 % Wasser oder 18 - 20 % Fett zugesetzt werden. Durch den laufenden Rotor werden Schwingungsfrequenzen von ca. 5000 Hz ausgelöst (32). Der Zerteilungseffekt der Kolloidmühle beruht nach B u z ä g h (10) überwiegend auf einer Scher- und Reißwirkung.

G i ß k e (29) und S c h w e r d t (83) halten die Kolloidmühle besonders zur Herstellung von Fleischwaren feinsten und homogener Beschaffenheit (Leberwurst, Leberkäse, Leberpastete usw.) sowie für die Verarbeitung schwer schneidbarer Materialien geeignet.

1) Die Ionenstärke wurde nach der Formel von D e b y e und H ü c k e l berechnet: $\kappa = 1/2 \sum c_i \cdot z_i^2$, wobei c_i die Konzentration und z_i die Wertigkeit der einzelnen Ionenart ist.

V. Die Eiweißkörper des Muskels

Der Skelettmuskel der Säugetiere enthält ungefähr 15 - 20 % Eiweißkörper, von denen der größte Teil mit verdünnten Salzlösungen aus frischem Muskelbrei extrahiert werden kann (40).

Über 20 % des Gesamtproteins liegen als Myoalbumin und Myoglobin in wasserlöslicher Form vor (40, 96, 97, 98).

Ebenfalls mit 20 % am Gesamtprotein ist das wasserunlösliche Globulin X beteiligt, welches bei einer Ionenstärke von 0,005 und einem p_H -Wert über 5,8 löslich ist (40, 58, 96, 98). Da die physiologische Ionenstärke im Fleisch auf Grund der Asche etwa 0,16 μ und unter Einrechnung der organischen Ionen, vor allem der ATP, etwa 0,25 μ beträgt (13, 38), sind die Bedingungen für eine leichte Extrahierbarkeit dieses Muskeleiweißkörpers (MEK) gegeben (47).

Den bedeutendsten Anteil am Gesamt-Protein des Muskels hat die wasserunlösliche Myosingruppe (40, 56, 98). H a s s e l b a c h und S c h n e i d e r (39) haben den Gehalt der Kaninchenmuskulatur an Myosin-N bestimmt und ihn mit den Ergebnissen früherer Untersucher verglichen. Während M e y e r und W e b e r (58) etwa 40 % des Gesamteiweiß-N als Myosin-N bestimmten, fanden H a s s e l b a c h und S c h n e i d e r (39) 51 - 53 %, wobei 38 % auf L-Myosin und 13 - 15 % auf Aktin entfallen. H a n s o n und H u x l e y (43) bestimmten in neuester Zeit durch interferenzmikroskopische Messungen den Proteingehalt der A-Banden in gewaschenen Myofibrillen und fanden, daß 50 - 55 % des Fibrillenproteins in der A-Bande lokalisiert sind. Mit Pyrophosphatlösungen konnten die genannten Autoren 62 % des Fibrillenproteins extrahieren, wovon sie durch Umfällung 51 % als L-Myosin identifizierten, der Rest entfiel auf Globulin X (35). Nachdem bei der interferenzmikroskopischen Untersuchung der Myofibrillen nach der Extraktion festgestellt wurde, daß die A-Banden völlig proteinfrei waren, konnte daraus geschlossen werden, daß zumindest 4/5 des L-Myosins in der A-Bande lokalisiert sind (35, 43). Diese Feststellung untermauert die Hypothese von H a n s o n und H u x l e y (34, 42) sowie jene von H a s s e l b a c h (37), daß sich alles L-Myosin in der A-Bande befindet, zumal sich dies auch durch die Übereinstimmung des Proteingehaltes der A-Banden und der extrahierten L-Myosinmenge andeutet (35, 43).

Ausserdem sind noch völlig unlösliche Proteine vorhanden, die offenbar dem Stroma der Muskelfasern angehören (20).

Ausführlich werden die einzelnen MEK in den Arbeiten von Weber (96, 97, 98, 101), Dubuissou (14, 16, 18, 19), Lenz (56) und Klement (46) behandelt.

VI. Der Aktomyosin-Komplex

Engelhardt und Ljubimova (22) entdeckten 1939, daß Myosin ATP-ase-Wirkung besitzt und daß durch ATP der Elastizitätsmodul von Myosinfäden erniedrigt wird (Weichmacherwirkung). 1941 fanden Needham, Shen, Needham und Lawrence (69), daß Viskosität und Strömungsdoppelbrechung von Myosinlösungen nach ATP-Zusatz reversibel absinken. Schramm und Weber (81) zeigten 1942 zum ersten Mal, daß Myosinlösungen mehrere Komponenten enthalten, und zwar eine langsam sedimentierende mit niedriger Strömungsdoppelbrechung, das L-Myosin, und mehrere schnell sedimentierende mit hoher Strömungsdoppelbrechung, die S-Myosine. Im gleichen Jahr gelang Straub (87) die wichtige Entdeckung, daß die S-Myosine aus 2 fibrillären Proteinen bestehen, nämlich aus L-Myosin und Aktin. Die Verbindung zwischen beiden wird heute Aktomyosin bzw. Aktomyosinkomplex genannt (101). Adenosintriphosphorsäure (ATP) vermag Aktomyosin in seine Bestandteile zu dissoziieren (4, 66, 71, 76, 87, 90, 91, 101). Ihren Ausdruck findet die Dissoziation in der Erniedrigung von Viskosität, Strömungsdoppelbrechung und Lichtstreuung sowie in der Veränderung der Sedimentationskonstanten (76, 101).

Das L-Myosinteilchen ist ein Eiweißstab von 22 - 24 Å Dicke und 2200 - 2400 Å Länge und enthält eine prosthetische Phosphorgruppe (101). Oberhalb $\mu = 0,05$ ist die Einsalzgrenze überschritten, das L-Myosin geht mehr und mehr in den echten Lösungszustand über und ist bei etwa $\mu = 0,3$ vollständig gelöst (57, 101).

Das Aktin kann in zwei Formen auftreten, die reversibel ineinander übergehen können, und zwar als wasserlösliches G-Aktin (G=globulär) mit kugelförmigen Molekülen und als wasserunlösliches F-Aktin (F=fibrillär) mit langgestreckten, fadenförmigen Molekülen (88). Durch geringen Zusatz eines Neutralsalzes zu einer wässrigen Lösung von G-Aktin (91) oder durch Erniedrigung des p_H (44) erfolgt eine lineare Aggregation der G-Aktinteilchen zu F-Aktin. Die Geschwindigkeit der Polymerisation hängt nach Feuer, Wolnár, Pettko und Straub (24) ausgespro-

chen von der Art und Konzentration der Ionen ab. Weber und Portzehl (101) sowie Szent-Györgyi (91) sind der Ansicht, daß G-Aktinteilchen zu Gruppen von einem Durchmesser von 100 Å und einer Länge von 300 Å ("Ovoid") zusammentreten, die sich dann ihrerseits zu langen Fäden aneinanderreihen.

Laki, Bowen und Clark (54) sowie Tsao (94) nehmen an, daß ATP für die Polymerisation notwendig ist. Die Reaktion soll nach Mommaerts (68) wie folgt verlaufen:



Kuschinsky und Turba (53) konnten die Transformation von G- in F-Aktin durch Salyrgan¹⁾ reversibel hemmen. Da Mg-Ionen für die Polymerisation unentbehrlich sind (91), vermuten Kuschinsky und Turba (53) eine Verknüpfung der korpuskulären Einheiten durch zusammengetretene Mg-Ionen und freie SH-Gruppen.

VII. Dissoziation des Aktomyosin-Komplexes

Eine nennenswerte Extraktion von Aktomyosin kann aus Fleisch, das nicht oder nur im Wolf zerkleinert wurde, nur dann erfolgen, wenn eine Dissoziation dieses Eiweiß-Komplexes in L-Myosin und Aktin stattgefunden hat. Dagegen ist ein In-Lösung-Gehen von gereinigtem Aktomyosin auch dann möglich, wenn keine Teilchenverkleinerung durch Dissoziation in L-Myosin und Aktin stattfindet.

Die Studien von Hasselbach, Hofschneider, Kasper und Lutz (38) ergaben für gereinigtes Aktomyosin die Eigenschaften des Geles mit Sicherheit nur bei Ionenstärken $< 0,1$ und die des Soles mit Sicherheit nur bei Ionenstärken $> 0,5$. Im Zwischenbereich werden die Gel- oder Sol-Eigenschaften des Aktomyosins durch spezielle Bedingungen entschieden. Die Löslichkeit von kontraktilen Zell- und Muskelproteinen ist nach Weber (100) von der Ionenstärke und ATP-Konzentration abhängig. Gergely und Spicer (28) berichten, daß mit steigender Temperatur die Löslichkeit abnimmt.

1) Salyrgan = Komplexe Hg-Verbindung des Salicylallylamidessigsäuren Na

Die Dissoziation des Aktomyosin-Komplexes war Gegenstand von Untersuchungen zahlreicher bedeutender Muskelphysiologen. Nach *Weber und Portzehl* (101) ist die Dissoziation des Aktomyosins offenbar nur möglich, wenn sich die Affinität der beiden Komponenten von selbst oder durch chemische Einflüsse (ATP oder andere Polyphosphate) vermindert. Solche Verminderung der gegenseitigen Affinität tritt z.B. im Laufe der Zeit ein. Sie verläuft verhältnismäßig schnell, wenn die Ionenstärke sehr hoch oder die Reaktion sehr alkalisch ist (101).

Die dissoziierende Wirkung üben nach *Perry* (71, 72) die im Muskel physiologisch vorkommenden Nukleosidtriphosphate (NTP), wie ATP, ITP, UTP und GTP¹⁾ sowie anorganische Tripoly- und Pyrophosphate aus (66, 91, 101). Nach *Szent-Györgyi* (91) bewirken bereits sehr kleine Mengen von Polyphosphaten, seien es ATP oder anorganische Pyro- oder Tripolyphosphate, bei niedriger Temperatur (0°C) und hoher Ionenstärke ($\mu = 0,6 \text{ m KCl}$) eine augenblickliche Dissoziation des Aktomyosins. Eine Erklärung für die Dissoziation findet *Szent-Györgyi* (91) in der elektrostatischen Abstoßung der negativ geladenen Aktin- und L-Myosin-Moleküle durch Vergrößerung ihrer negativen Gesamtladung.

Bei der Dissoziation wird nach *Weber und Portzehl* (101) das Polyphosphat an das Aktomyosin gebunden, und zwar unter Beteiligung von Mg-Ionen, wie *Hasselbach* (36) sowie *Spicer und Bowen* (85) festgestellt haben. Untersuchungen von *Bailey und Perry* (5) sowie *Kuschinsky und Turba* (52, 53) über die Wirkung von SH-Komplexbildnern (Salyrgan, Cu-Glykokoll) auf die Aktomyosin-Komponenten ergaben, daß Aktin durch SH-Gruppen des L-Myosins gebunden wird, da nach Vergiftung der SH-Gruppen des L-Myosins mit Salyrgan eine Verbindung zwischen Aktin und L-Myosin nicht mehr möglich ist (5, 52, 53). Von seiten des Aktins sind SH-Gruppen an der Symplexbildung nicht beteiligt (5, 52).

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen konnten *Weber und Portzehl* (101) die Vorstellung von *Szent-Györgyi* (91) dahingehend präzisieren, daß die bindenden Gruppen des L-Myosins SH-Gruppen sind. Ihre Affinität ist zu Aktin $\swarrow$ ATP $\swarrow$ SH-Komplexbildner. Die Dissoziation dürfte

1) ATP = Adenosintriphosphat

ITP = Inosintriphosphat

UTP = Uracylpentosetriphosphat

GTP = Guanosintriphosphat

daher auf einer Verdrängung des Aktins aus der SH-Bindung des L-Myosins beruhen (101).

Während die Kontraktion nach dem Verschwinden der wirksamen Substanz, z.B. durch Spaltung der ATP oder ITP, bestehen bleibt, ist die Dissoziation des Aktomyosins vollständig reversibel, wenn die wirksame Substanz entfernt wird (101).

Anorganische Polyphosphate könnten durch Myosin-ATP-ase nicht gespalten werden und bewirken daher im Gegensatz zu ATP eine dauerhafte Dissoziation des Aktomyosins (66).

Die Zahl der Variablen, welche die Dissoziation beeinflussen, ist groß und es resultieren wechselseitige Beziehungen.

Nach S z e n t - G y ö r g y i (91) wird die Dissoziation durch Erhöhung der Ionenstärke, alkalische Reaktion, Steigerung der Konzentration von ATP und Mg^{++} und Erniedrigung der Temperatur gefördert.

H a s s e l b a c h (36) vertritt die Meinung, daß Aktomyosin selbst bei niedriger Ionenstärke (0,1 μ) durch Erhöhung der ATP-, Ca^{++} - und Mg^{++} -Konzentrationen zur Dissoziation gebracht werden kann.

L a k i , S p i c e r und C a r o l l (55) beobachteten, daß neben ATP auch Erhöhung der Ionenstärke und Erniedrigung der Temperatur das Gleichgewicht Aktomyosin $\rightleftharpoons$ Aktin + L-Myosin zu Gunsten der rechten Seite verschieben. Allerdings machen W e b e r und P o r t - z e h l (101) die Einschränkung, daß von allen wirksamen Polyphosphaten, welche bei 0° C besser wirken als bei höheren Temperaturen (66, 68), ATP eine Ausnahme macht.

Die Temperaturabhängigkeit für Pyrophosphat in Aktomyosinlösungen hoher Ionenstärke wurde von H a s s e l b a c h , H o f s c h n e i d e r , K a s p e r und L u t z (38) untersucht und eine Dissoziation des Aktomyosin-Komplexes nur bei Temperaturen nahe 0° C ermittelt. Unter diesen Bedingungen beschleunige und verbessere Pyrophosphat die Extraktion merklich (38). M o m m a e r t s (66) konnte bereits früher dieselbe Beobachtung machen.

Die ATP-Wirkung auf die Dissoziation von Aktomyosin kann nach P o r t - z e h l , S c h r a m m und W e b e r (76) durch Wirkung der Ionen-

stärke und des p_H nicht ersetzt werden. Inwieweit jedoch letztere Faktoren in sehr langer Zeit ähnliche Vorgänge einzuleiten vermögen, sei noch ungeklärt (76).

Die Bedeutung der Mg-Ionen als *conditio sine qua non* für die Dissoziation wurde bereits erwähnt (s.S. 14). Die physiologische Mg-Konzentration im Muskel beträgt nach W e b e r (100) $0,5 - 1,0 \times 10^{-5}$ m. In geringen Konzentrationen ermöglicht das Mg^{++} die Bindung der Polyphosphate an das Protein und damit die Dissoziation; in höheren Konzentrationen wird es für die Spaltung der Nukleosidtriphosphate und Kontraktion benötigt (36, 100).

VIII. Die Extrahierbarkeit von Muskeleiweißkörpern

Die Muskelfaser besteht aus längs verlaufenden Myofibrillen, welche in homogenes Sarkoplasma eingebettet sind (93). Ihren äußeren Abschluß bildet eine elastische Membran, das Sarkolemm, welches sowohl dem Zusammenhalt des Faserinnern, wie der Einordnung der Faser in den Muskelverband dient (57).

Da die intakte Zelle das hochmolekulare Eiweiß kaum nach aussen abgibt, muß im allgemeinen die Zellmembran zerstört werden, wenn das Eiweiß in Lösung gebracht werden soll (31, 40). Die Zerstörung der umhüllenden Strukturen kann durch mechanische Bearbeitung erfolgen mit den bereits besprochenen Feinstzerkleinerungsmaschinen, mit dem Gefriermikrotom (61) oder durch einfaches Verreiben des Gewebes in einer Reibschale mit Sand (56) erreicht werden. Eine Vorkühlung der zu benutzenden Geräte auf 0° C ist erforderlich, damit eine Wärmedenaturierung der Proteine vermieden wird (9). Organische Lösungsmittel wie Alkohol, Azeton oder Glyzerin sowie wiederholtes Gefrieren und Auftauen bewirken ebenfalls eine Zerstörung der Muskelmembran (40), jedoch ist bei diesen Verfahren die Gefahr einer Denaturierung des Aktomyosins besonders groß (31).

Die Extraktion von fibrillären MEK ist nach D u b u i s s o n (18) nur bei Anwesenheit von Salzen möglich. Alle Globuline und somit auch Aktomyosin sind nach G r a s s m a n n und T r u p k e (31) durch ein hohes Dipolmoment ausgezeichnet und unterscheiden sich dadurch von den wasserlöslichen Albuminen. Die geringe Löslichkeit der Globuline in Wasser führen die genannten Autoren auf die hohe Bindungsenergie der Kristallgitter von Globulinen zurück. Für D u b u i s s o n (13) ist daher die Ionen-

stärke der Extraktionslösungen und bis zu einem gewissen Grade auch die Natur der verwendeten Ionen von ausschlaggebender Bedeutung für Ertrag und Art der in Lösung gehender MEK.

Die globären MEK liegen im Zellsaft in gelöster Form vor und sind im Gegensatz zu den fibrillären Eiweißkörpern mit Wasser oder verdünnten Salzlösungen leicht extrahierbar (18).

IX. Der Einfluß der Zerkleinerung auf die Extrahierbarkeit fibrillärer Muskeleiweißkörper

Da bei p_H 6 und einer Ionenstärke um 0,6 nach Weber und Portzehl (101) die Einsalzgrenze für alle fibrillären MEK überschritten wird, würde daher die Erwartung nahe liegen, daß unter diesen Bedingungen aus frischem Muskelbrei alle fibrillären Proteine ohne weiteres erschöpfend extrahiert werden könnten (101). Dies ist jedoch nicht der Fall; denn die Extrahierbarkeit der kontraktilen Proteine hängt nicht nur von ihrer Löslichkeit ab, sondern auch vom Grad der mechanischen Zerstörung des Gewebes (17). Die mehrere μ langen F-Aktinfäden werden von unlöslichen Muskelstrukturen am Austritt gehindert (101), so daß die Aktin-Extraktion ein Permeabilitätsproblem darstellt (39).

Hasselbach und Schneider (39) konnten aus fleischwolf-zerkleinertem Muskel mit pyrophosphathaltiger Extraktionslösung bei p_H 6 nur L-Myosin und globäre Proteine, aber kein Aktin extrahieren. Erst bei p_H = 7,5 ging Aktin sehr langsam und unvollständig in Lösung (39), bedingt durch die Auflockerung der umhüllenden Gewebsstruktur infolge der alkalischen Reaktion (101). Erfolgte jedoch eine intensive Zerkleinerung mit dem Starmix, so waren Aktin und L-Myosin gleichzeitig extrahierbar, wobei der Anteil an F-Aktin mit der Dauer der Blendor-Behandlung, d.h. mit dem Grade der mechanischen Zerstörung des Gewebes, anstieg (39). Dabei werden nicht nur die diffusionshemmenden Strukturen zerstört, sondern nach Ansicht von Weber und Portzehl (101) auch die langen F-Aktinfäden in kürzere bewegliche Bruchstücke zerschlagen, die nach dem Austritt in die Extraktionslösung jedoch wieder spontan regenerieren (39). Hasselbach, Hofschneider, Kasper und Lutz (38) konnten zeigen, daß nach Zerkleinerung im Starmix Aktomyosin im frischen Muskel bei einer Ionenstärke 0,4 auch ohne ATP-Zusatz praktisch vollständig extrahiert werden kann. Nach Ansicht der genannten Autoren ge-

hen Aktin und L-Myosin bei diesem Zerkleinerungsverfahren in Lösung, ohne daß sie durch die Stromastrukturen mechanisch wesentlich behindert werden (38).

Wird der Muskelbrei jedoch nur mit dem Fleischwolf zerkleinert, so gehen in eine Extraktionslösung von der Ionenstärke $\mu = 0,25$ nur 18 % der Myosin-Fraktion über, und zwar als fast reines L-Myosin. Die geringe Dispersität des Muskelbreies hindert nach Hasselbach, Hofschneider, Kasper und Lutz (38) den Austritt des Aktins offenbar fast vollständig und den des L-Myosins weitgehend. Bei hoher Ionenstärke ($\mu = 0,6$) ist jedoch das L-Myosin auch nach Zerkleinerung im Fleischwolf vollständig extrahierbar, während auch hierbei Aktin zurückgehalten wird (38).

Nach Amberson, Chinn, Erdös und Ludes (2) gelingt es zwar, aus ganzen, unversehrten Muskeln nach tagelanger Extraktion die globären Proteine und L-Myosin im Extrakt nachzuweisen, nie aber die geringste Spur von Aktin. Wird jedoch die umhüllende Struktur ganz beseitigt, wie durch Isolierung der Muskelfibrillen nach Perry (70), so lösen sich diese in 0,6 m KCl-Lösung sofort zu einer Aktomyosinlösung (70, 101).

Nach Weber und Portzehl (101) können F-Aktinfäden aus grob-zerkleinertem Muskel einer Extraktion auch durch Depolymerisation in G-Aktin zugänglich gemacht werden. Dies kann entweder ohne Denaturierung nach der Methode mit Azeton von Straub (87, 88) oder durch KI in Gegenwart von ATP nach Szent-Györgyi (91) geschehen. Bei dem Verfahren von Dubuison (17) mit KI ohne ATP kommt es zu einer Denaturierung des Aktomyosins.

Hasselbach und Schneider (39) geben für die Feinstruktur der frischen Muskelfaser folgendes Bild: Stark hydratisierte Aktinfäden werden von der Stromastruktur festgehalten. An ihnen sitzen die L-Myosinteilchen, die bei hoher Ionenstärke und bei Gegenwart von Pyrophosphat oder ATP abdissoziieren und extrahiert werden können (39).

Kotter (47) ist der Meinung, daß beim Kutterprozeß ohne Weichmacher bei Ionenstärken um 0,6 zwar gewisse Mengen von L-Myosin und Aktin extrahierbar sind, jedoch komme es anschließend nicht nur zu einer Aggregation der zerschlagenen F-Aktinfäden, sondern auch zur Rückbildung von Aktomyosin.

D u b u i s s o n (15) macht die Extraktionsgeschwindigkeit nicht nur vom Grad der Zerkleinerung, sondern auch von der Ionenstärke abhängig, besonders wenn spezifisch dissoziierende Ionen fehlen.

W e b e r und P o r t z e h l (101) kommen zu dem Ergebnis, daß die Extrahierbarkeit von Aktin und L-Myosin allein von der gegenseitigen Bindung dieser Proteine und von der mechanischen Behinderung der Diffusion durch die umhüllenden Muskelstrukturen abhängt.

C. Eigene Untersuchungen

In den Versuchen sollte geprüft werden, inwieweit ein unterschiedlicher Zerkleinerungsgrad die Extrahierbarkeit von MEK mit Lösungen von NaCl und Pyrophosphat zu beeinflussen vermag. Die Ionenstärken der zum Zerkleinern im Starmix verwendeten Salzlösungen wurden variiert, um einen Einfluß der während der Zerkleinerung anwesenden Salzmengen auf die spätere Extraktion zu erfassen.

Da aus der Muskelphysiologie besonders durch die Arbeit von Hasselbach, Hofschneider, Kasper und Lutz (38) bekannt ist, daß im Laufe der Totenstarre die Extrahierbarkeit von MEK abnimmt, war es notwendig, die Extraktionen nach bestimmten Lagerungszeiten post mortem anzusetzen. Um aber auch eine etwaige Relation zwischen Zerkleinerung und Lagerung zu erfassen, wurden die Extraktionen in verschiedenen Zeitabständen nach dem Tode durchgeführt.

I. Material und Methodik

1. Präparation der Muskulatur

Für die Versuche wurde stets schlachtwarmes Fleisch vom M. gluteus eines Jungbullen verwendet. Um Muskelreizungen bei der Zerlegung möglichst zu vermeiden, erfolgte zuerst eine Abkühlung der entnommenen Muskelsubstanz auf ungefähr 5°C und im Anschluß daran ein sorgfältiges Entfernen von Bindegewebe, Sehnen, Fascien und Fett. Von dem so vorbereiteten Fleisch eines Tieres wurden Proben bis zur weiteren Verarbeitung jeweils 6, 8, 10, 12 und 14 bzw. 28, 30, 32 und 34 Stunden bei 4°C im Kühlschrank gelagert. Hierauf wurde die Muskulatur mit dem Fleischwolf zerkleinert und Portionen von jeweils 100 g für die Starmixzerkleinerung und von 20 g für die Extraktion des gewolften Fleisches abgewogen.

2. Extraktionslösungen

Für die Extraktionen fanden Lösungen von NaCl und Pyrophosphat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) Verwendung. Die Ionenstärke der endgültig zum Fleisch im Verhältnis 1:10 zugefügten Extraktionslösungen betrug stets $\mu = 0,50$. Bei den Versuchen am lediglich gewolften Fleisch wurden daher entweder 0,50 m NaCl-Lösung

oder 0,40 m NaCl + 0,01 m $\text{Na P}_4\text{O}_{10}$ zugesetzt. Für die Bearbeitung im Starmix mußten zuerst 2 Teile Salzlösungen mit 1 Teil Fleisch gemischt werden. Die Ionenstärken der so zugemischten Salzlösungen waren verschieden. Beim Ansatz der Extraktionen wurden dann die restlichen 8 Teile der Extraktionslösung dem Fleischbrei zugemischt, und zwar wurde die Ionenstärke dieser Lösungen so gewählt, daß die Ionenstärke der insgesamt zugefügten Lösungen $\mu = 0,50$ erreichte.

Bei der Zerkleinerung im Starmix und den Extraktionen fanden Salzlösungen in folgenden Mengen und Konzentrationen Verwendung:

Zerklei- nerung (S = Star- mix) (W = Wolf)	Bei der Zerkleinerung zugefügte Salzlösung		Für die Extraktion zugefügte Salzlösung	
	Menge in Teilen der Muskeleinwaage	C mol	Menge in Teilen der Muskeleinwaage	C mol
W	-	-	10	0,50 m NaCl
S	2	0,63 m NaCl	8	0,47 m NaCl
S	2	0,16 m NaCl	8	0,59 m NaCl
W	-	-	10	0,40 m NaCl + 0,01 m $\text{Na P}_4\text{O}_{10}$
S	2	0,53 m NaCl + 0,01 m $\text{Na P}_4\text{O}_{10}$	8	0,37 m NaCl + 0,01 m $\text{Na P}_4\text{O}_{10}$
S	2	0,16 m NaCl	8	0,49 m NaCl + 0,01 m $\text{Na P}_4\text{O}_{10}$

Sämtliche Extraktionslösungen wurden mit 0,5 m HCl bzw. NaOH auf $p_{\text{H}} = 6,0$ eingestellt.

3. Durchführung der Extraktionen

Für einen Teil der Versuche fand eine weitere Zerkleinerung der gewolften Muskulatur statt. Hierzu wurden 100 g des gewolften Fleisches mit 200 g Salzlösung im Starmix 1 min bearbeitet. Fleisch, Salzlösungen und Starmix

wurden vorher gekühlt. Von dem so erhaltenen Muskelbrei wurden 60 g in einen Glaskolben eingewogen und 160 g Extraktionslösung zugeführt. Für die Extraktionen mit lediglich gewolfem Fleisch wurden 20 g Fleisch mit 200 g Extraktionslösung in einem Erlenmeyerkolben vermischt. Die so hergestellten Extraktionsansätze wurden unter ein Rührwerk gesetzt und bei 0° C 60 min gerührt. Hierauf wurde der Muskelbrei 10 Minuten lang in einer Kühlzentrifuge bei 25 000 x g und 0° C zentrifugiert, der überstehende Extrakt abgegossen, gewogen und sein p_H -Wert gemessen. In 10 g Extrakt wurde dann jeweils der N-Gehalt bestimmt. Je 5 g des Extraktes wurden durch Zugabe von 150 ml Aqua dest. auf eine Ionenstärke von rund 0,015 ($p_H = 6-7$) gebracht. Die auf diese Weise ausgefällten wasserunlöslichen Eiweißkörper des Muskels wurden abzentrifugiert und in der oben stehenden Flüssigkeit der N-Gehalt bestimmt. Für jede Versuchsreihe wurde der Gesamt-N und der Rest-N der frischen Muskulatur aus jeweils 3 Proben festgestellt. Die Ermittlung des Gesamt-N erfolgte aus 5 g Muskelmasse nach Kjeldahl. Für die Bestimmung des Rest-N der Muskulatur wurden 5 g des gewolfen Fleisches mit 20 ml Aqua dest. aufgeschwemmt und 20 ml einer 2 %igen Trichloressigsäure zugegeben. Nach 20 Minuten wurde der unlösliche Eiweißniederschlag abfiltriert und der Rückstand sorgfältig ausgewaschen. Der Nichtproteinstickstoff oder Rest-N konnte sodann aus dem Filtrat ermittelt werden. Alle N-Bestimmungen wurden zweimal durchgeführt. Die Eiweiß-N-Konzentration in der Muskulatur ergab sich aus der Differenz von Gesamt N und Rest-N.

Die Berechnung der in den Tabellen angegebenen Werte erfolgte nach folgendem Schema:

$$\frac{\text{N-\% im Extrakt} \times \text{Extraktmenge}}{100} = \text{extrahierter Gesamt-N}$$

$$\frac{\text{extrahierter Gesamt-N} \times 100}{\text{Muskeleinwaage}} = \text{extrahierter Gesamt-N in \%}_M$$

$$\text{extrahierter Gesamt-N in \%}_M - \text{Rest-N in \%}_M = \text{extrahierter Gesamt-Eiweiß-N in \%}_M$$

$$\frac{\text{extrahierter Gesamt-Eiweiß-N in \%}_M \times 100}{\text{Eiweiß-N-Konzentrat. in der Muskulatur}} = \text{extrahierter Gesamt-Eiweiß-N in \%}_{EN}$$

$$\frac{\text{N-Menge im myosinfreien Extrakt} \times \text{Extraktmenge}}{\text{Extrakteinwaage}} = \text{extrahierter wasserlöslicher N}$$

$$\frac{\text{extrahierter wasserlöslicher N} \times 100}{\text{Muskeleinwaage}} = \text{extrahierter wasserlöslicher N in } \%_M$$

$$\text{extrahierter wasserlöslicher N in } \%_M - \text{Rest-N in } \%_M = \text{extrahierter wasserlöslicher Eiweiß-N in } \%_M$$

$$\frac{\text{extrahierter wasserlöslicher Eiweiß-N in } \%_M \times 100}{\text{Eiweiß-N-Konzentration im Muskel}} = \text{extrahierter wasserlöslicher Eiweiß-N in } \%_{EN}$$

$$\text{extrahierter Gesamt-Eiweiß-N in } \%_{EN} - \text{extrahierter wasserlöslicher Eiweiß-N in } \%_{EN} - \text{extrahierter Myosin-N in } \%_{EN}$$

$\%_M$ = bezogen auf Muskulatur

$\%_{EN}$ = bezogen auf Eiweiß-N der Muskulatur

Tabelle 1: Extraktionseffekt von NaCl- und NaP_4O_7 -Lösungen bei wolfzerkleinertem Fleisch nach unterschiedlichen Lagerungszeiten p.m.; p_H der Extraktionslösungen 6,0; Ionenstärke der Extraktionslösungen $\mu = 0,50$

Laufende Nr.	Extraktionslösung im Verhältnis Fleisch : Lösung = 1 : 10	Beginn der Extraktion in Stunden p.m.	p _H des Extraktes	extrahierter Eiweiß-N in % des Muskelseiweiß-N	extrahierter N der globulären Pro- teine in % des Muskelseiweiß-N	extrahierter N der fibrillären Proteine in % des Muskelseiweiß-N
1	0,50 m NaCl	6	6,03	48,18	19,13	29,05
2		8	5,95	43,61	17,42	26,19
3		10	5,84	38,37	16,67	21,70
4		12	5,79	37,26	20,14	17,12
5		14	5,76	34,46	19,54	14,92
6		28	5,65	26,65	19,41	7,24
7		30	5,75	28,90	21,00	7,90
8		32	5,84	28,60	20,71	7,89
9		34	5,63	25,92	17,44	8,48
=====						
10	0,40 m NaCl + 0,01 m Na ₄ P ₂ O ₇	6	6,04	48,37	21,55	26,82
11		8	5,90	44,41	16,05	28,36
12		10	5,85	47,49	19,62	27,87
13		12	5,76	53,14	24,03	29,11
14		14	5,86	50,79	18,81	31,98
15		28	5,84	47,42	22,99	24,43
16		30	5,72	46,50	22,56	23,94
17		32	5,68	43,11	20,51	22,60
18		34	5,59	39,27	16,46	22,81

Tabelle 2: Extraktionseffekt von NaCl- und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösungen nach Zerkleinerung mit dem Starmix bei Gegenwart von 0,16 m NaCl nach unterschiedlichen Lagerungszeiten p.m.; p_H der Extraktionslösungen 6,0; Ionenstärke der Salzlösungen $\mu = 0,50$

Laufende Nr.	Bei der Starmixzerkleinerung zusetzte Salzlösung im Verhältnis 1:2	Extraktionslösung	Beginn der Extraktion in Stunden p.m.	p_H des Extraktes	extrahierter Eiweiß-N in % des Muskeleiweiß-N	extrahierter N der globären Proteine in % des Muskeleiweiß-N	extrahierter N der fibrillären Proteine in % des Muskeleiweiß-N
1	0,16 m NaCl	0,59 m NaCl	6	5,94	44,67	18,68	25,99
2			8	6,01	38,42	17,39	21,03
3			10	5,91	37,81	20,71	17,10
4			12	5,86	29,19	17,38	11,81
5			14	5,78	32,44	19,96	12,48
6			28	5,76	33,69	24,24	9,45
7			30	5,73	31,45	22,13	9,32
8			32	5,82	28,29	18,92	9,37
9			34	5,69	25,89	19,49	6,40
=====							
10	0,16 m NaCl	0,49 m NaCl +	6	6,11	50,21	19,41	30,80
11		0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	8	5,97	48,41	17,16	31,25
12			10	5,86	54,68	22,00	32,68
13			12	5,73	52,24	17,75	34,49
14			14	5,76	56,55	20,51	36,04
15			28	5,77	56,76	17,95	38,81
16			30	5,80	55,06	17,63	37,43
17			32	5,72	57,47	21,40	36,07
18			34	5,61	54,61	19,37	35,24

Tabelle 3: Extraktionseffekt von NaCl- und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösungen nach Zerkleinerung mit dem Starmix bei Gegenwart von 0,63 m NaCl oder 0,53 m NaCl + 0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ nach unterschiedlichen Lagerungszeiten p.m.; p_H der Extraktionslösungen 6,0; Ionenstärke der Salzlösungen $\mu_\text{H} = 0,50$

Laufende Nr.	Bei der Starmixzerkleinerung zugesetzte Salzlösung im Verhältnis 1 : 2	Extraktionslösung	Beginn der Extraktion in Stunden p.m.	p_H des Extraktes	extrahierter Eiweiß-N in % des Muskelleiweiß-N	extrahierter N der globulären Proteine in % des Muskelleiweiß-N	extrahierter N der fibrillären Proteine in % des Muskelleiweiß-N
1	0,63 m NaCl	0,47 m NaCl	6	5,96	39,21	14,63	24,58
2			8	6,01	37,53	17,06	20,47
3			10	5,74	38,85	22,61	16,24
4			12	5,82	30,03	18,77	11,26
5			14	5,85	33,68	21,13	12,55
6			28	5,82	31,00	20,93	10,07
7			30	5,68	28,41	18,47	9,94
8			32	5,74	25,52	16,43	9,09
9			34	5,63	31,53	21,98	9,55
=====							
10	0,53 m NaCl +	0,37 m NaCl +	6	5,95	47,30	18,05	29,25
11	0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	8	6,01	49,36	18,81	30,55
12			10	5,87	54,17	22,92	31,25
13			12	5,92	52,74	20,40	32,34
14			14	5,77	53,24	19,35	33,89
15			28	5,73	57,20	21,51	35,69
16			30	5,88	54,08	17,89	36,19
17			32	5,64	51,47	18,12	33,53
18			34	5,72	46,56	15,52	31,04

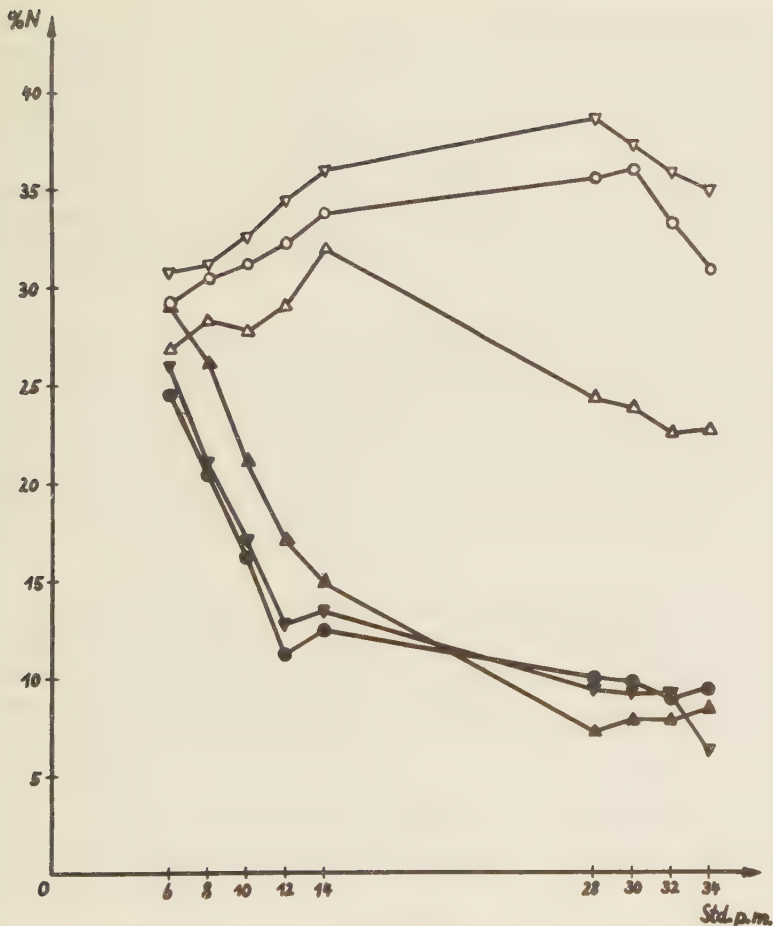


Abbildung 1: Graphische Darstellung der in den Tabellen 1, 2 und 3 angegebenen Werte für den extrahierten Myosinstickstoff in % des Muskel-Eiweiß-N in Abhängigkeit von der Lagerungszeit des Fleisches

- ▽ — ▽ = Starmixzerkleinerung in 0,16 m NaCl
Extraktion mit 0,49 m NaCl + 0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
- — ○ = Starmixzerkleinerung in 0,53 m NaCl + 0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
Extraktion mit 0,37 m NaCl + 0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
- △ — △ = Zerkleinerung im Wolf ohne Zusatz
Extraktion mit 0,40 m NaCl + 0,01 m $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
- ▼ — ▼ = Starmixzerkleinerung in 0,16 m NaCl
Extraktion mit 0,59 m NaCl
- — ● = Starmixzerkleinerung in 0,63 m NaCl
Extraktion in 0,47 m NaCl
- ▲ — ▲ = Zerkleinerung im Wolf ohne Zusatz
Extraktion mit 0,50 m NaCl

II. Besprechung der Ergebnisse

Aus Tabellen 1, 2 und 3 wurden die Werte für die extrahierten fibrillären Eiweißkörper in Abbildung 1 (s.S. 27) graphisch aufgetragen. Daraus ist zu ersehen, daß mit NaCl-Lösungen aus gewolfem Fleisch bis 14 Stunden p.m. jeweils mehr Myosin zu extrahieren war, als aus intensiv zerkleinertem Fleisch. Im weiteren Verlauf sind die Erträge aus gewolfem Fleisch etwas geringer als aus feinstzerkleinertem. Insgesamt ist mit zunehmender Lagerungszeit bei Verwendung von NaCl-Lösungen ein starkes Absinken der Extraktionsausbeuten festzustellen.

Bei den Extraktionen mit pyrophosphathaltigen Lösungen war durch intensive Zerkleinerung stets eine Steigerung der Myosinerträge zu erzielen. Bei den Extraktionen 6 Stunden p.m. sind die Ausbeuten mit Pyrophosphat gegenüber den mit NaCl nicht oder nur unwesentlich erhöht. Bei weiterer Lagerung wird die Extrahierbarkeit des Myosins mit Pyrophosphat jedoch verbessert. Die Werte durchschreiten bei feinstzerkleinertem Fleisch zwischen 28 - 30 Stunden p.m. und bei gewolfem schon früher ihren Kulminationspunkt.

Ein gewisser Einfluß der zugefügten Salzmenge bei der Zerkleinerung deutet sich an. So liegen die Erträge aus Fleisch, das in Gegenwart von 0,16 m NaCl zerkleinert wurde, etwas höher als diejenigen von solchem Fleisch, das in Salzlösungen einer Ionenstärke von $\mu = 0,63$ zerkleinert wurde.

D. Diskussion

=====

Hasselbach und Schneider (39) stellten fest, daß bei ungenügender Zerstörung der Gewebsstruktur, wie dies bei der Zerkleinerung im Wolf der Fall ist, nur L-Myosin extrahiert werden kann, während bei der stärkeren Zerkleinerung mit dem Starmix auch erhebliche Mengen an Aktin gleichzeitig in das Extraktionsmittel übergehen.

Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den hier durchgeführten Extraktionen mit NaCl-Lösungen, daß nach geringerer Zerkleinerung des Fleisches, also bei stärkerer Schonung extraktionshemmender Strukturen, in den ersten Stunden p.m. erheblich mehr Myosin zu extrahieren war als nach intensiverer Zerkleinerung mit dem Starmix. Der Umstand, daß dieses Verhalten nur bei Fleisch zu beobachten war, das nicht länger als etwa 20 Stunden gelagert wurde, und dieses Verhalten somit zeitlich mit dem Abbau der ATP zusammenfällt, bekräftigt die Vermutung Kottler's (47), daß mit dieser Erscheinung der ATP-Abbau in ursächlichem Zusammenhang steht.

Kottler (47) sieht die Ursache für die geringere Extraktionsausbeute an fibrillären Proteinen bei feinzerkleinerter Muskulatur mit NaCl-Lösungen darin, daß durch die gleichzeitige Extraktion von L-Myosin und Aktin der ATP-Abbau von einer Kontraktion bzw. Superpräzipitation des ausgetretenen fibrillären Eiweißes begleitet ist, während bei wolfzerkleinertem Material, wo nur L-Myosin ausgetreten ist, eine Superpräzipitation außerhalb der Festpartikel nicht stattfindet. Bei einer gesonderten Zugabe von gelöstem Aktin zum Extrakt vor dem Zentrifugieren müßte dann trotz der zusätzlichen Eiweißzugabe im Zentrifugat weniger fibrilläres Eiweiß nachzuweisen sein.

Es ist aber auch die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß durch die starke Dispergierung des zum Teil noch ungelösten Aktomyosins dessen ATP-ase-Aktivität gesteigert und dadurch die ATP-Spaltung beschleunigt wird, wodurch die extraktionsfördernde Wirkung der ATP in feinstzerkleinertem Fleisch rascher abnimmt als im gewolfen. ATP-Bestimmungen an schlachtwarm zerkleinertem Fleisch dürften Aufklärung darüber bringen, inwieweit diese Überlegung begründet ist.

Das schnelle Absinken der Extraktionsausbeuten mit NaCl-Lösungen in den ersten 10 - 20 Stunden p.m. fällt mit dem Abbau der ATP und so auch mit

der Ausbildung der Totenstarre zusammen. Nach B a n g a und S z e n t - G y ö r g y i (3) soll die in lebender Muskelfaser in einer Konzentration von $7 \cdot 10^{-3}$ m vorhandene ATP (38) bei 0°C bereits nach 8 Stunden vollständig gespalten sein. Bei den ersten Extraktionen 6 Stunden p.m. steht noch die Dissoziationswirkung der ATP im Vordergrund, so daß dadurch eine weitgehende Extraktion ermöglicht wird. Die progressive Spaltung der ATP unter Kontraktion des Aktomyosins macht sich im Absinken der Myosin-Ausbeuten in den folgenden Ansätzen bemerkbar. Nach vollständigem Abbau der ATP erfolgt keine Rückkehr zu höheren Werten der extrahierten fibrillären Proteine, was mit den Beobachtungen von H a s s e l b a c h, H o f s c h n e i d e r, K a s p e r und L u t z (38) im Einklang steht. Die genannten Autoren fanden, daß sich bei Abwesenheit von ATP oder anderen Polyphosphaten die Kohäsionskräfte zwischen den Eiweißteilchen verstärken und somit eine Dissoziation nicht mehr möglich ist. W e b e r und P o r t z e h l (101) stellten sogar eine Denaturierung des Aktomyosins in der Zeit des ATP-Mangels fest.

Die Ergebnisse aus den Extraktionsansätzen mit Pyrophosphat zeigen, daß durch stärkere Zerkleinerung die Extrahierbarkeit der fibrillären Muskel-eiweißkörper zu steigern ist. Die Ursache hierfür könnte in der Beseitigung der umhüllenden Membranen begründet sein. Da aber dieser Effekt mit NaCl nicht erzielt werden konnte, ist anzunehmen, daß hierbei die Beziehung zwischen Aktomyosin und Pyrophosphat eine besondere Rolle spielt. Weiter ist bemerkenswert, daß mit der Zeit p.m. die Extraktionsausbeute mit Pyrophosphat zunimmt, während sie im gleichen Zeitraum mit NaCl stark abfällt. Es ist daher auch bei der Extraktion mit Pyrophosphat an einen Einfluß des ATP-Abbaues zu denken, der hier allerdings eine Steigerung des Extraktionsertrages verursacht. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung von W e b e r und P o r t z e h l (101) beachtlich, daß sich Fasermodelle auch bei Pyrophosphat-Anwesenheit nach ATP-Zusatz kontrahieren.

Der postmortale ATP-Abbau schreitet also auch bei Pyrophosphat-Anwesenheit unter Kontraktion des Aktomyosins fort, wobei sich im Zuge der ATP-Spaltung immer mehr Pyrophosphat mit dem Aktomyosin verbinden und dieses dissoziieren kann. Je mehr ATP abgebaut ist, umso mehr Aktomyosinteilchen können durch Pyrophosphat dissoziiert und extrahiert werden.

Die Annahme, daß durch die stärkere Dispergierung bei der intensiven Zerkleinerung die ATP-ase-Aktivität des Aktomyosins zu steigern und dadurch

der ATP-Abbau zu beschleunigen ist, wird auch durch die Tatsache bekräftigt, daß in Gegenwart von Pyrophosphat mit stärkerer Zerkleinerung die Extrahierbarkeit des Myosins gefördert wird. Offenbar werden hierbei durch den rascheren ATP-Abbau die Bindungsmöglichkeiten des Aktomyosins für das dissoziierend wirkende Pyrophosphat vermehrt.

Die Beobachtung, daß mit NaCl in den ersten Stunden p.m. eine hohe Myosin-
ausbeute zu erzielen war, zeigt, daß in der jeweiligen Muskulatur neben
kontrahiertem Aktomyosin auch durch ATP dissoziiertes vorlag.

E. Zusammenfassung

1. Die Literatur über Zerkleinerungsvorgänge unter besonderer Berücksichtigung der Fleischverarbeitung und über die Extrahierbarkeit von Muskeleiweißkörpern wird besprochen.
2. Die Extraktionseffekte von Natriumchlorid und Tetranatriumpyrophosphat auf Muskeleiweißkörper werden an grob- und feinzerkleinerter Rindermuskulatur nach unterschiedlicher Lagerungszeit geprüft und die extrahierten Protein-N-Mengen von wasserlöslichen und wasserunlöslichen Muskeleiweißkörpern getrennt nach Kjeldahl bestimmt.
3. Die unterschiedlichen Extraktionsausbeuten an Gesamt-Eiweiß-N entfallen auf fibrilläre Muskelproteine. Mit NaCl-Lösungen ist aus wolferkleinerter Muskelsubstanz nach gleichen Lagerungszeiten bis etwa 20 Stunden p.m. mehr Myosin extrahierbar als aus der mit dem Starmix intensiv zerkleinerten Muskulatur. Dagegen ist mit Pyrophosphat-Lösungen die Extraktion fibrillärer Proteine durch stärkere Zerkleinerung zu steigern.
4. Die Extraktionsausbeuten mit NaCl-Lösungen fallen nach 6 - 14-stündiger Lagerung des Fleisches stark ab, was mit dem Abbau der ATP zeitlich übereinstimmt. Bei der Extraktion mit Pyrophosphat-Lösungen wird im Laufe der Lagerung die Extrahierbarkeit fibrillärer Proteine verbessert und erreicht 28 - 30 Stunden p.m. bei feinzerkleinertem Fleisch und bei gewolfem schon früher ihre höchsten Werte. Nach dieser Zeit fallen die Werte etwas ab, liegen aber bei feinzerkleinertem Fleisch 34 Stunden p.m. noch über ihren Anfangswerten.
5. Die Ursachen für die Beeinflussung der Extrahierbarkeit fibrillärer Muskelproteine durch unterschiedliche Zerkleinerung und Lagerungszeiten wurden diskutiert.

F. Literaturverzeichnis
=====

1. Ashauer, A.: Das Wurst- und Fleischerhandwerk.
Verlag Reinhardt, München 1951;
2. Amberson, W.R., B.Chinn,
T. Erdös and H.Ludes: Electrophoretic and Ultracentrifugal
Analyses of Protein Extracts from Whole
Mammalian Muscles.
J.Biol.Chem. 181 (1949) 405;
3. Banga, I. and
A. Szent-Györgyi: Preparation and Properties of Myosin
A and B.
Stud.Inst.Med.Chem.Univ. Szeged 1
(1941-42) 5;
4. Bailey, K.: Muscle Proteins.
British Medical Bulletin 12 (1956) 183;
5. Bailey, K. and
S.V. Perry: The Role of Sulphydrylgroups in the
Subraction of Myosin and Actin.
Biochim.et Biophys.Acta 1 (1947) 506;
6. Bechold, H.: Einführung in die Lehre von den Kolloiden.
Verlag Steinkopff, Leipzig 1934;
7. Bechtold, E.: Der praktische Fleischer. Bd. II
4. Aufl. Verlag Matthaes, Stuttgart
1953;
8. Bock, E. und
H. Baumgärtner: Taschenbuch für den Fleischer.
Fachbuchverlag Leipzig 1956;
9. Bosch, M.W.: Contribution to the Characterisation
of Muscles by Electrophoresis.
Scheltema & Holkema's Boekhandel,
Amsterdam 1951;
10. Buzágh, A.: Kolloidik.
Verlag Steinkopff, Dresden und Leipzig
1936;
11. Buzágh, A.: Peptisation und Dissolutation.
In: 50;

12. Chwala, A.: Zerkleinerungschemie.
Kolloid-Beih. 31 (1930) 222;
13. Dubuisson, M.: Sur la Répartition dans le Muscle Strié.
Arch.Internat.Physiol. 52 (1942) 439;
14. Dubuisson, M.: Recherches sur les Proteines Musculaires.
I. Aperçu de l'Etat Actuel de nos Con-
naissances sur les Proteines Musculaires.
Bull.Soc.Roy. Liège, 13 (1945) 114;
15. Dubuisson, M.: Accessibilité, Solubilité et Association
in situ de la Myosine.
Experientia 3 (1947) 372;
16. Dubuisson, M.: Les Protéines Musculaires.
Exposés Annuels de Biochimie Médicale.
Serie IX, Paris: Masson, 1948;
17. Dubuisson, M.: Der Einfluß verschiedener Ionen auf die
Extrahierbarkeit der Proteine aus ruhender
und kontrahierter Muskulatur.
Biochem. et Biophys. Acta 5 (1950) 489;
18. Dubuisson, M.: Muscle Activity and Muscle Proteins.
Biol.Rev.Cambridge Phil.Soc.25 (1950) 46;
19. Dubuisson, M.: Chemistry of Muscle.
An.Rev.Biochem. 21 (1952) 387;
20. Edelbacher, S., und
F. Leuthardt: Lehrbuch der physiologischen Chemie.
Verlag Walter de Gruyter & Co., Berlin
1954;
21. Edsall, J.T. and
J.W. Mehl: Viscosity and Double Refraction of Flow.
J.biol.Chem. 133 (1940) 409;
22. Engelhardt, W.A. and
M.N. Ljubimova: Myosin and Adenosintriphosphatase.
Nature, London, 144 (1939) 668;
23. Erdös, T.: Rigor, Contracture and ATP.
Stud.Inst.Med.Chem. Univ. Szeged, 3
(1943) 51;

24. Feuer, G., F. Molnar,
E. Pettko und F.B. Straub: zit. nach 101
25. Figge, K.: Scharfe oder stumpfe Kuttermesser.
AFZ 1953, Nr. 16;
26. Flaschenträger, B. und
E. Lehnartz: Physiologische Chemie. Ein Lehr- und
Handbuch für Ärzte, Biologen und Chemiker. I. Die Stoffe.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1951;
27. Flaschenträger, B. und
E. Lehnartz: Physiologische Chemie. Ein Lehr- und
Handbuch für Ärzte, Biologen und Chemiker. II/2a. Der Stoffwechsel.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1956;
28. Gergely, J. and S.S. Spicer: On Factors Affecting the Reversible
Superprecipitation of Actomyosin.
Biochim. et Biophys. Acta 6 (1951) 456;
29. Gißke, W.: Fortschrittliche Entwicklung auf dem
Gebiete der Fleischverarbeitung.
Fleischwirtschaft 1955, 371;
30. Gißke, W., und R. Grau: Die Eignung des Schnelkkutters zur Her-
stellung von Wurstwaren.
Fleischwirtschaft 1955, 184;
31. Grassmann, W. und J. Trupke: Eiweißstoffe und ihre Abbaustufen.
In: 26;
32. Grüttner, F.: Taschenbuch der Fleischwarenherstellung.
5. Aufl.
Verlag Dr. Serger & Hempel, Braunschweig
1956;
33. Guba, F., and F.B. Straub: Extraction of Myosin.
Stud.Inst.Med.Chem. Univ. Szeged, 3
(1943) 46;
34. Hanson, J., and
H.E. Huxley: Structural Basis of the Cross-
Striations in Muscle.
Nature, London, 172, (1953) 530;

35. Hanson, J., and
H.E. Huxley: Quantitative Studies on Structure of
Cross-Striated Myofibrills.
II. Investigations by Biochemical
Techniques.
Biochim. et Biophys. Acta 23 (1957) 250;
36. Hasselbach, W.: Die Umwandlung von Aktomyosin-ATP-ase in
L-Myosin ATP-ase durch Aktivatoren und die
resultierenden Aktivierungseffekte.
Zschr.f.Naturforsch. 7b (1952) 163;
37. Hasselbach, W.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen
an Muskelfibrillen bei totaler und par-
tieller Extraktion des L-Myosins.
Zschr.f.Naturforsch. 8b (1953) 449;
38. Hasselbach, W., H.P.Hofschneider,
E. Kasper und R.Lutz: Die Sol-Gel-Umwandlung von gereinigtem
Aktomyosin und von Aktomyosin während der
Extraktion frischer und glycerinbehandelter
Muskelfasern in Abhängigkeit von Ionalität,
Ionenstärke und ATP.
Zschr.f.Naturforsch. 8b (1953) 204;
39. Hasselbach, W. und
G. Schneider: Der L-Myosin- und Aktingehalt des Kanin-
chenmuskels.
Biochem.Z. 321 (1951) 462;
40. Haurowitz, F.: Chemistry and Biology of Proteins.
Acad.Press.Inc. Publishers,
New York 1950;
41. Hellmann, H.: Eiweiß.
Verlag Curt E. Schwab, Stuttgart 1952;
42. Huxley, H.E.: The Ultra-Structure of Striated Muscle.
British Medical Bulletin 12 (1956) 171;
43. Huxley, H.E. and
J. Hanson: Quantitative Studies on the Structure
of Cross-Striated Myofibrills.
I. Investigations by Interference
Microscopy.
Biochim. et Biophys. Acta 23 (1957) 229;

44. Jakus, M.A. and C.E. Hall: Studies of Actin and Myosin.
J.of Biol.Chem. 167 (1947) 705;
45. Kiesskalt, S.: Verfahrenstechnik.
Verlag Carl Hanser, München 1953;
46. Klement, H.: Über die Extrahierbarkeit von Muskelei-
weißkörpern aus Kaninchenmuskeln mit
Lösungen verschiedener Salze.
Vet.med.Diss. München 1956;
47. Kotter, L.: Zur Wirkung kondensierter Phosphate und
anderer Salze auf tierisches Eiweiß.
Habilitationsschrift, München 1957;
48. Kotter, L., W. Lenz und
O. Prändl: Zur Methode der papierelektrophoretischen
Auftrennung der globären Muskel-
eiweißkörper.
Zbl.f.Vet.Med. 2 (1955) 495;
49. Kotter, L., und P. Prändl: Einfluß der Fleischzerkleinerung auf die
Zustandsänderung der fibrillären Muskel-
eiweißkörper.
Arbeitstagung europäischer Fleisch-
wissenschaftler.
Fleischwirtschaft 1956, 688;
50. Kuhn, A.: Kolloidchemisches Taschenbuch.
Akad.Verlagsges. Geest & Portig,
Leipzig 1953;
51. Kuhn, W.: Physikalisch-chemische Grundlagen bio-
logischer Vorgänge.
In: 26;
52. Kuschinsky, G., und F. Turba: Über den Chemismus von Zustandsänderun-
gen des Aktomyosins.
Experientia 6 (1950) 103;
53. Kuschinsky, G. und F. Turba: Über die Rolle der SH-Gruppen bei Vor-
gängen am Aktomyosin, Myosin und Aktin.
Biochem. et Biophys. Acta 6 (1951) 426;

54. Laki, K., W.J. Bowen and A. Clark:
The Polymerisation of Proteins. Adenosintriphosphate and the Polymerisation of Actin. J.gen.Physiol. 33 (1950) 437;
55. Laki, K., S.S. Spicer and W.R. Carroll:
Evidence for a Reversible Equilibrium between Actin, Myosin and Actomyosin. Nature 169 (1952) 328;
56. Lenz, W.:
Zur Methodik der papierelektrophoretischen Auftrennung von Muskeleiweißkörpern. Vet.med.Diss. München 1954;
57. Lohmann, K. und Ohlmeyer, P.:
Muskel. In: 27;
58. Meyer, H.K., und H.H. Weber:
Das kolloidale Verhalten der Muskeleiweißkörper. V. Das Mengenverhältnis der Muskeleiweißkörper in seiner Bedeutung für die Struktur des quergestreiften Kaninchenmuskels. Biochem.Z. 266 (1933) 137;
59. Mialki, W.:
Über eine Methode zur Bestimmung der Reibungswerte von Fleisch. Fleischwirtsch. 1949, 226; 1950, 139, 162;
60. Mialki, W.:
Die mechanische Verarbeitung von Fleisch als Problem der Kolloid- und Strömungsphysik. Fleischwirtsch. 1951, 226;
61. Mialki, W.:
Forderungen an moderne Fleischereimaschinen. Vieh- u. Fleischwirtsch. 1951, Nr. 14;
62. Mialki, W.:
Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung. Chem.Ing.Tech. 23 (1951) 473;
63. Mialki, W.:
Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung. Mitt.Blatt d. GDCH-Fachgruppe Lebensmittelchemie, 1951, 45;

64. Mialki, W.: Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung.
Chem. Ing. Tech. 25 (1953) 137;
65. Mialki, W.: Fleischwarenherstellung als verfahrenstechnische Aufgabe.
Der Bayer. Metzgermeister 21 (1954) 9;
66. Mommaerts, W.F.H.M.: The Reaction between Actomyosin and Adenosinetriphosphate.
J. gen. Physiol. 31 (1948) 361;
67. Mommaerts, W.F.H.M.: A Consideration of Experimental Facts Pertaining to the Primary Reaction in Muscular Activity.
Biochim. et Biophys. Acta 4 (1950) 50;
68. Mommaerts, W.F.H.M.: The molecular Transformation of Actin. III. The Participation of Nucleotides.
J. biol. Chem. 198 (1952) 469;
69. Needham, J., S.C. Shen, D.M. Needham and A.S.C. Lawrence: Myosin Birefringence and Adenylpyrophosphate. - Nature 147, (1941) 766;
70. Perry, S.V.: The Adenosinetriphosphatase Activity of Myofibrils Isolated from Skeletal Muscle.
Biochem. J. 48 (1951) 257;
71. Perry, S.V.: Interactions of Actomyosin and Adenosinetriphosphate.
British Medical Bull. 12 (1956) 188;
72. Perry, S.V.: Nucleotide Metabolism and Intracellular Organisation in Skeletal Muscle.
Conférences et Rapports présentés au 3ème Congrès International de Biochimie, Bruxelles, 1-6 Aout 1955, Verlag Vaillant-Carmanne, Liège 1956, S. 364;
73. Pilz, P.: Der Schneidvorgang in der Zerkleinerungstechnik von Weichstoffen.
Chem. Ing. Tech. 25 (1953) 33;

74. Pilz, P.: Der Schneid- und Zerkleinerungsvorgang.
Untersuchungen an Kutmessern.
Neue Fleischer-Zt. 1954, Nr. 65;
75. Pilz, P.: Über spezielle Probleme der Zerkleinerungs-
technik von Weichstoffen. Forschungsberichte
des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums
Nordrhein-Westfalen. Nr. 136, Westdeutscher
Verlag, Köln-Opladen 1955;
76. Portzehl, H., G.Schramm Aktomyosin und seine Komponenten.
und H.H. Weber: I. Mitt.Zschr.f.Naturforsch. 5b (1950) 61;
77. Riess, K. und W. Meskat: Schneckenmaschinen für die Verfahrenstech-
nik zähflüssiger und plastischer Massen.
Chem.Ing.Tech. 23 (1951) 205;
78. Römpp, H.: Chemie Lexikon, 3. Aufl.
FranckH'sche Verlagsbuchhandlung,
Stuttgart 1952;
79. Schlobach, E.: Fleischereimaschinen.
Fleischwirtsch. 1951, 106;
80. Schmidt, W.: Handbuch für das Fleischergewerbe.
Fachbuchverlag Dr.Pfanneberg & Co.,
Gießen 1953;
- 81 Schramm, G., und H.H,Weber: Über monodisperse Myosinlösungen.
Kolloid-Zschr. 100 (1942) 242;
82. Schwerdt, H.: Mechanische Verarbeitung von Fleisch in
Fleischereimaschinen.
Fleischwirtsch. 1951, 226;
83. Schwerdt, H.: Die Vibrations-Kolloidmühle in der
Fleischwarenfabrikation.
Fleischwirtsch. 1952, 180;
84. Spicer, S.S.: Gel Formation Caused by Adenosinetri-
phosphate in Actomyosin Solutions.
J.Biol.Chemistry 190 (1951) 257;

85. Spicer, S.S., and
W.J. Bowen: Reactions of Inosine- and Adenosine-
triphosphates with Actomyosin and Myosin.
J.Biol.Chemistry 188 (1951) 741;
86. Staudinger, H.: Organische Kolloidchemie. 3. Aufl.
Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig 1950;
87. Straub, F.B.: Actin I.
Stud.Inst.Med.Chem. Univ. Szeged 2 (1942)
3;
88. Straub, F.B.: Actin II.
Stud.Inst.Med.Chem. Univ. Szeged 3 (1943)
23 und 38;
89. Szent-Györgyi, A.: Observations on Actomyosin.
Stud.Inst.Med. Univ. Szeged 3 (1943) 86;
90. Szent-Györgyi, A.: Studies on Muscle.
Acta physiol.scand. 9 (1945) Suppl.XXV;
91. Szent-Györgyi, A.: Chemistry of Muscular Contraction.
2.Aufl. Acad.Press, Inc., New York 1951;
92. Thiele, H.: Praktikum der Kolloidchemie.
Verlag Steinkopff, Frankfurt/M. 1950;
93. Trautmann, A., und
J. Fiebiger: Lehrbuch der Histologie und vergleichenden
mikroskopischen Anatomie der Haustiere.
Parey-Verlag, Berlin 1949;
94. Tsao, T.G.: The Molecular Dimensions and the Monomer-
Dimer Transformation of Actin.
Biochim. et Biophys. Acta 11 (1953) 227;
95. Waldschmidt-Leitz, E.: Chemie der Eiweißkörper.
Verlag Enke, Stuttgart 1950;
96. Weber, H.H.: Die Muskeleiweißkörper und der Feinbau
des Skelettmuskels.
Ergebn.Physiol. 36 (1934) 109;
97. Weber, H.H.: Muskeleiweißkörper und die Eigenschaften
des Muskels.
Die Naturwiss. 27 (1939) 33;

98. Weber, H.H.: Muskelpoteine.
Biochim. et Biophys. Acta N.Y. 4 (1950) 12;
99. Weber, H.H.: Kontraktile Proteine und Motilität der
Lebewesen.
Die Naturwiss. 42 (1955) 270;
100. Weber, H.H.: Das kontraktile System von Muskeln und
Zellen.
Conférences et Rapports présentés au
3ème Congrès International de Biochemie,
Bruxelles, 1-5 Aout 1955. Imprimerie
H. Vaillant-Carmanne, Liège 1956, S. 356;
101. Weber, H.H. und
H. Portzehl: Kontraktion, ATP-Zyklus und fibrilläre
Proteine des Muskels.
Ergebn. Physiol. 47 (1952) 369;
102. Winter, F.: Testbericht über den Krötz-Universalkutter.
Neue Fleischer-Zt. 1953, Nr. 85.

Am Ende meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. H. S e d l m e i e r für die Überlassung des Themas und sein großes Entgegenkommen meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Herrn Privatdozent Dr. L. K o t t e r und Herrn Dr. O. P r ä n d l habe ich für zahlreiche Anregungen und die jederzeit gewährte bereitwillige Unterstützung bestens zu danken.

Lebenslauf

Am 20. Juli 1923 wurde ich, Heinz Grothaus, als Sohn des Oberbergrates Dr. Dipl.-Ing. Heinrich Grothaus und seiner Ehefrau Mathilde, geb. Grothaus, in Teplitz-Schönau geboren.

Nach Ableistung der 5-jährigen Volksschulpflicht besuchte ich 4 Klassen des erzbischöflichen Gymnasiums in Prag und dann die Oberschule für Jungen in Dux, wo ich am 16. 3. 1942 die Reifeprüfung ablegte. Unmittelbar danach wurde ich zur Wehrmacht einberufen. 1943 geriet ich in Afrika in amerikanische Gefangenschaft, aus der ich am 11. Juli 1946 nach Starnberg zu meinen aus der Heimat vertriebenen Eltern entlassen wurde.

Das Studium der Tiermedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München begann ich im Wintersemester 1947/48 und legte dort am 1. 7. 1955 die tierärztliche Prüfung ab.

Nach dem Staatsexamen leistete ich am Institut für Nahrungsmittelkunde der Tierärztlichen Fakultät der Universität München 3 Monate meiner Praktikantenzeit ab.

